

А. И. Вахитов, Г. Б. Смирнов, А. А. Фокин

ВЛИЯНИЕ УЧЕТА ДИФФУЗИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РОСТА КАТОДНОГО ОСАДКА В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ КОАКСИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ

В работе представлено влияние учета диффузионной поляризации и формы анода на результаты имитационного моделирования процесса роста катодного осадка в электролизере коаксиальной симметрии.

Ключевые слова: моделирование, твердый катод, поляризация, оптимизация формы катода.

This article represents diffusion polarization and anode form influence on the results of cathode sediment growth process imitation modeling in coaxial symmetry electrolyzer.

Keywords: modeling, solid cathode polarization, shape optimization of the cathode.

В ранее разработанном алгоритме моделирования роста катодного осадка в электролизере коаксиальной симметрии не было учтено возможное влияние диффузионной поляризации на процесс осаждения металла [1].

В настоящей работе проведено исследование влияния диффузионной поляризации на модельный процесс роста катодного осадка. Для расчета поляризации были использованы усредненные параметры коэффициента диффузии $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ и толщины диффузионного слоя $\delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$. Эти параметры дали возможность рассчитать некую гипотетическую поляризационную кривую, которая позволила принципиально оценить степень влияния поляризации на результаты моделирования. Критерием оценки влияния поляризации является показатель числительной производительности.

Расчеты были произведены для двух вариантов катодных матриц, представленных на рис. 1. Первый вариант матрицы имеет донную часть, что соответствует монолитной конструкции катода. Во втором варианте матрица представляет собой полую тонкостенную конструкцию без дна. На рис. 1 слева расположена ось симметрии, а справа и на дне находится анод.

В результате моделирования была получена зависимость расчетной производительности от напряжения при учете поляризации и без учета поляризации (рис. 2). Интервал заданного напряжения обеспечивал корректные величины поляризации во всех узлах на поверхности катода и составлял 0,025...0,2 В. Из графика видно, что производительность при учете поляризации меньше чем без ее учета. В среднем расхождение $\Delta p = 48,3 \text{ г/ч}$ (10 %).

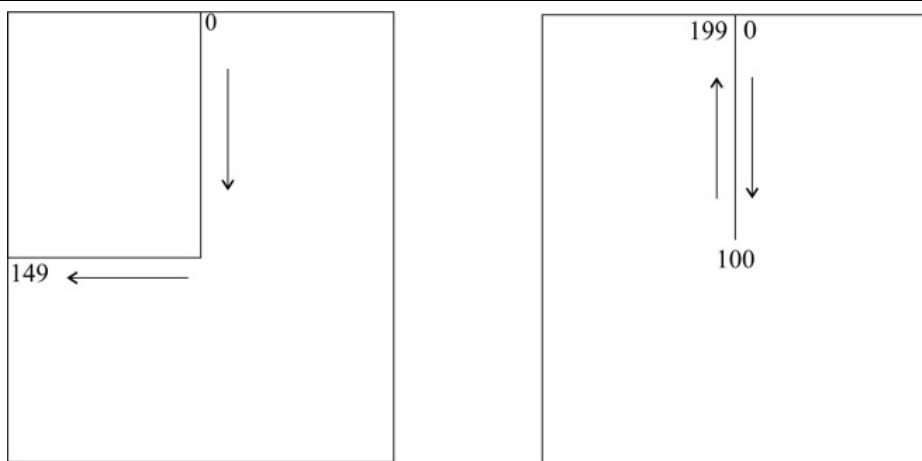


Рис. 1. Схема электролизёра коаксиальной симметрии (сечение) с различными типами катода

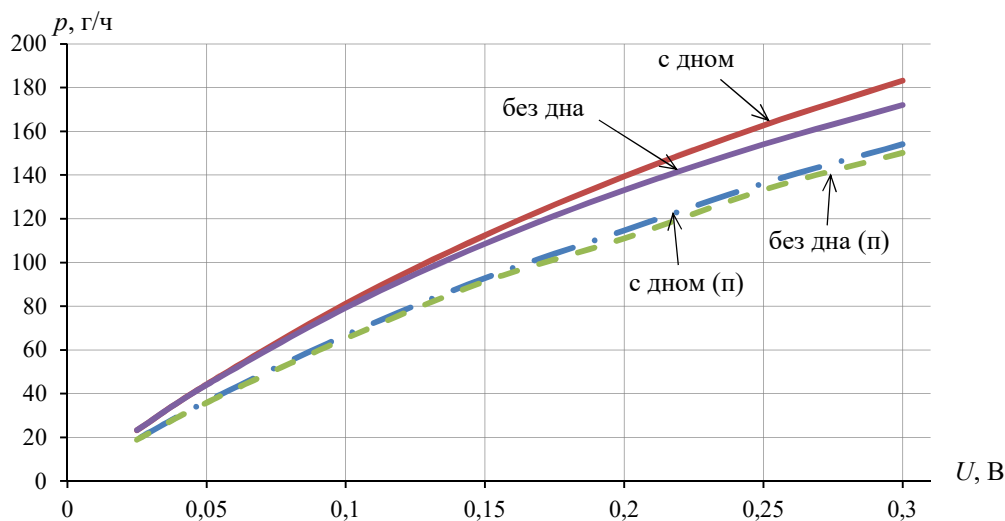


Рис. 2. Зависимость расчетной производительности процесса от заданного напряжения для различных типов катодной матрицы: без учета поляризации (—) и с учетом поляризации (---)

Причиной влияния поляризации на производительность процесса является различие в распределении плотности тока по поверхности катода. На рис. 3 и рис. 4 показано распределение тока по поверхности катода с дном и без дна соответственно для напряжений на ванне 0,025 и 0,2 В. Сплошной линией обозначены зависимости без учета поляризации, а прерывистой — с учетом поляризации. Расхождения составляют от 10 до 30 %, что обусловлено непропорциональным влиянием плотности тока на поляризацию. Наибольшее отклонение происходит в точке концентрации тока, которая расположена на угле катодной матрицы (узел 100).

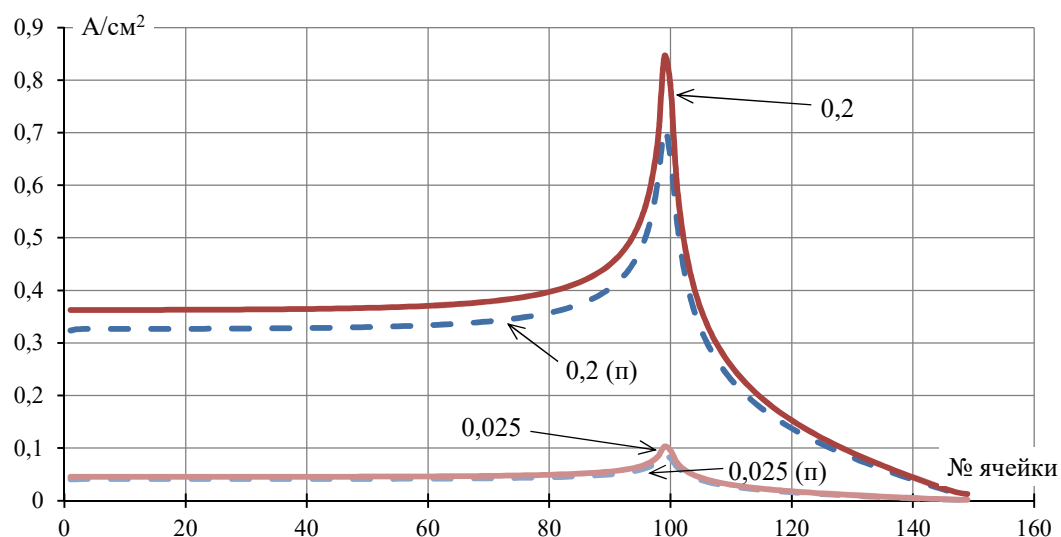


Рис. 3. Распределение плотности тока на развертке поверхности катода с дном при напряжениях на ванне 0,025 и 0,2 В с учетом (—) и без учета (---) поляризации

Форма анода существенно влияет на рост катодного осадка. Поэтому при нахождении оптимальной формы катода, следует учитывать, какой формы будет анод.

В данном случае мы рассмотрели три формы растворимого анода в электролизере коаксиальной симметрии: анод на дне ванны, анод находится только по краям ванны, сочетание первого и второго случая.

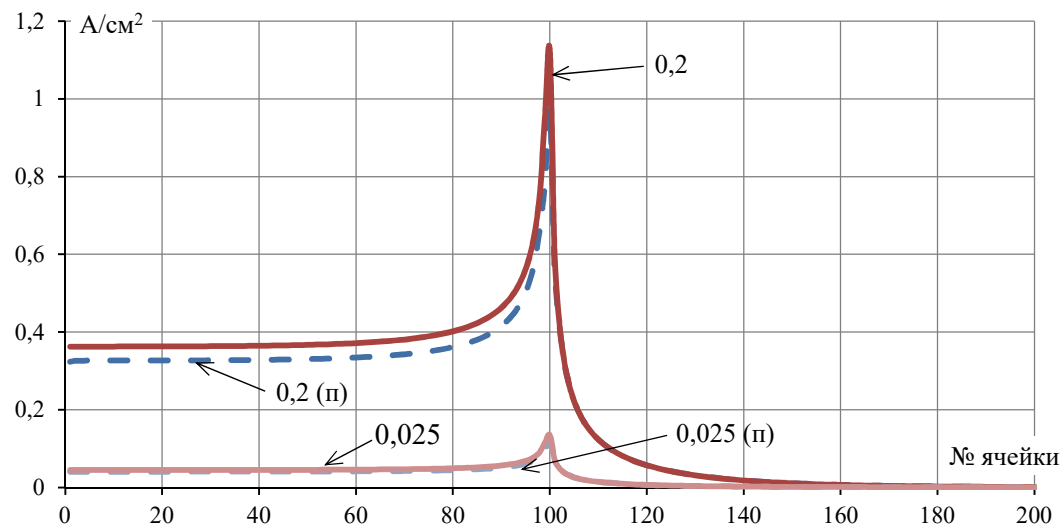


Рис. 4. Распределение плотности тока на развертке поверхности катода без дна при напряжениях на ванне 0,025 и 0,2 В с учетом (—) и без учета (---) поляризации

Для изучения влияния формы анода было проведено имитационное моделирование, целью которого был поиск оптимальной формы катода при разных формах анода. При проведении эксперимента использовался тонкостенный катод без дна.

Итоги проведения моделирования приведены в табл. 1, где h , $d1$, $d2$ — это высота катода, верхний и нижний диаметры катода соответственно, p — расчетная производительность аппарата.

Таблица 1

Результаты поиска оптимальных размеров катодной матрицы методом имитационного моделирования при различных формах анода

Тип анода	h , мм	$d1$, мм	$d2$, мм	p , г/ч
По краям	166	124	108	446,7731
На дне ванны	156	128	104	292,9069
Оба случая	166	124	104	433,3935

Из табл. 1 следует, что наибольшей производительностью обладает случай, когда анод находится только по краям ванны. Результаты эксперимента для второго случая, когда анод находится только на дне ванны, оказались самыми низкими из-за того, что при использовании тонкостенного катода без дна рост осадка преимущественно происходит внизу от катода и происходит преждевременное замыкание на анод, когда диаметр катода еще не достиг размера выгрузочного отверстия аппарата. А в первом и третьем случаях окончание процесса определяется размером выгрузочного отверстия. Оптимальные размеры катодной матрицы оказались различными для различных вариантов конструкции анода.

Еще одним фактором, который может оказать влияние на распределение тока по поверхности катода, является изменение толщины диффузионного слоя из-за различных углов натекания струи электролита на поверхность катода согласно теории В. Г. Левича [2]. Такого рода эффект проявляется наиболее сильно в районе углов катодной матрицы, где толщина диффузионного слоя заметно истончается. Для оценочной проверки влияния этого эффекта на результаты моделирования проделали вычислительный эксперимент, в котором в районе угла катода в обе стороны задали толщину диффузионного слоя $2 \cdot 10^{-3}$ см на расстоянии 3 мм, а по остальной части поверхности катода задали ее значение $5 \cdot 10^{-3}$ см.

При заданном напряжении 0,1 В влияние указанного фактора практически не проявляется, а для напряжения 0,3 В в районе угла катода заметно отклонение плотности тока в среднем на 5 %, что видимо связано с нелинейностью поляризационной кривой (рис. 5).

Заметное локальное изменение плотности тока из-за изменения толщины диффузионного слоя с одновременным влиянием на этот эффект значения заданного напряжения на электролизёре привело к необходимости изучения влияния различной толщины диффузионного слоя при различных заданных напряжениях

на ванне на производительность процесса электролиза. В табл. 2 приведены результаты моделирования по условиям поставленной задачи.

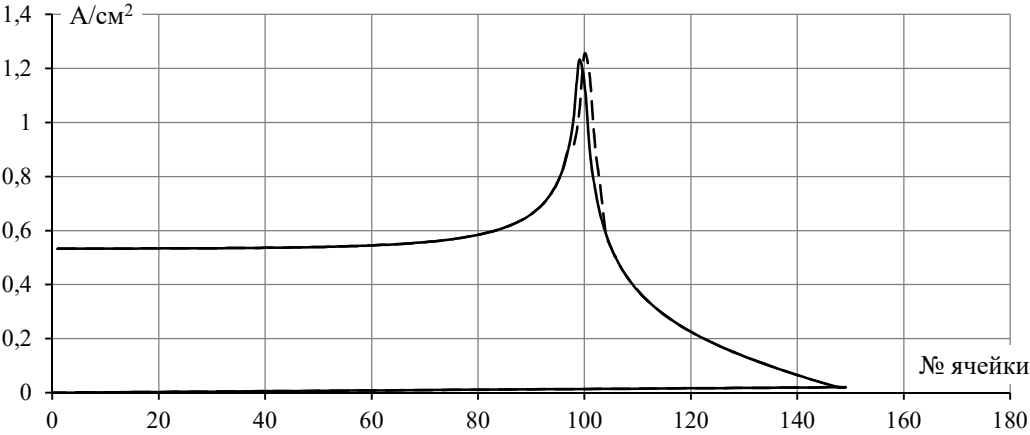


Рис. 5. Распределение плотности тока по поверхности катода при равномерной толщине диффузионного слоя 0,05 см (—) и его утончении в области угла катода до 0,02 см (--)

Таблица 2

Производительность процесса электролиза в зависимости от толщины диффузионного слоя и напряжения по результатам моделирования

Толщина, см	U, В						
	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,05	24,863 17	46,931 54	84,733 68	117,1997	142,2092	167,6155	188,5157
0,02	25,005 59	47,149 81	86,064 29	116,0402	142,2607	164,6668	183,6473

Результаты моделирования показали, что при изменении толщины диффузионного слоя более чем в два раза различия составляют от 0,5 до 2,5 %, причем отсутствует закономерность в зависимости от заданного напряжения.

В заключение можно отметить, что учет влияния диффузионной поляризации на результаты моделирования процесса электролиза целесообразен при плотностях тока, близких к предельным значениям для данного процесса, которые обеспечивают наибольшие допустимые напряжения на ванне.

Литература

1. Смирнов Г. Б., Фокин А. А., Маркина С. Э., Вахитов А. И. Оптимизация процесса роста катодного осадка в электролизере — рафинере коаксиальной симметрии методом имитационного моделирования // Расплавы. 2014. № 5. (сентябрь—октябрь). С. 78–83.
2. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М: Физматгиз, 1959. 699 с.